

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO



INSTITUTO DE FÍSICA
LICENCIATURA EM FÍSICA

PROJETO DE INSTRUMENTAÇÃO PARA O ENSINO DE FÍSICA

Ensinando Dilatação Térmica Linear dos Sólidos no Ensino Médio

Aluno: Fábio Ferreira Barroso

Orientador: Prof. Vitorvani Soares

2005/1

Dedicatória

Dedico este meu trabalho a Deus, criador de todas as pessoas que passaram por minha vida.

“Hoje levantei pensando no que tenho para fazer antes que o relógio marque meia-noite.

É minha função escolher que tipo de dia terei hoje. Posso reclamar que está chovendo ou agradecer as águas por levarem a poluição. Posso ficar triste por não ter dinheiro ou me sentir encorajado para administrar minhas finanças, evitando desperdício. Posso reclamar sobre minha saúde ou dar graças por estar vivo. Posso me queixar dos meus pais por não terem me dado o que eu queria ou posso ser grato por ter nascido. Posso reclamar por ter que ir trabalhar ou agradecer por ter trabalho. Posso sentir tédio com o trabalho doméstico ou agradecer a Deus por ter um teto para morar. Posso lamentar decepções com amigos ou me entusiasmar com a possibilidade de fazer novas amizades.

Se as coisas não saírem como planejei, posso ficar feliz por ter hoje para recomeçar.

O dia está na minha frente, esperando para ser o que eu quiser. E aqui estou eu, o escultor que pode dar forma.

Tudo depende de mim ..”

Charles Chaplin

Agradecimentos

Agradeço especialmente a minha namorada, Letícia Farinha Silva por todo amor, carinho, dedicação e paciência que sempre teve comigo, acompanhando-me no dia a dia e daqui até o fim de minha vida.

Agradeço também ao meu Pai, Davidson Pereira Barroso, que infelizmente não se encontra mais entre nós. Mas foi uma pessoa fundamental em minha formação e que sem dúvida foi meu grande suporte para chegar até aqui.

A meus amigos e companheiros de faculdade, os professores Rafael Pinheiro Santos, Ricardo Hadlich, Sandro Araújo da Silva e Luís Otávio Ramos Torres, que a partir de agora comungam, além do gosto pelo estudo da Física, uma profissão em comum a serviço da sociedade.

Ao Professor Vitorvani Soares, a quem devo muito pela realização desse trabalho e pelas muitas horas de dedicação e paciência. Agradeço pelo grande aprendizado, impagável, pelo qual eu relutava em adquirir mas com o tempo tento entender.

À Rede MV1 de Ensino e ao Colégio Cidade pela oportunidade de realizar este projeto e abrir as portas das instituições para que eu realizasse o meu trabalho, que faço com muita alegria.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| RESUMO | 9 |
| INTRODUÇÃO | 11 |
| ESCOLHA DO TEMA | 11 |
| CONTRIBUIÇÃO DE OUTROS PROFESSORES PARA O TEMA | 13 |
| O QUE É NOVO EM NOSSO TRABALHO | 14 |
| COMO O TRABALHO ESTÁ ORGANIZADO | 14 |
| A DILATAÇÃO TÉRMICA AO LONGO DA HISTÓRIA..... | 17 |
| AValiação DOS ALUNOS - MOTIVAÇÃO | 25 |
| ELABORAÇÃO DO QUESTIONÁRIO..... | 25 |
| PRIMEIRA APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO | 26 |
| O EXPERIMENTO | 27 |
| <i>A apresentação do experimento:</i> | 28 |
| <i>Construção do experimento:</i> | 29 |
| SEGUNDA APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO | 29 |
| ANÁLISE DA AULA | 30 |
| UMA PROPOSTA PARA UM NOVO EXPERIMENTO | 31 |
| O PORQUÊ DA PROPOSTA | 31 |
| O EXPERIMENTO | 31 |
| <i>Material utilizado:</i> | 32 |
| CONCLUSÕES | 45 |
| REFERÊNCIAS | 47 |

Resumo

Neste trabalho, procuramos construir uma aula para o ensino médio sobre dilatação térmica linear dos sólidos a partir da observação direta do fenômeno. Para alcançar este objetivo, propomos: (i) a realização de um experimento em sala de aula, no qual é possível fazer medidas diretas da dilatação linear de um fio metálico; e (ii) construção de um modelo matemático para a descrição do fenômeno observado seguindo a evolução histórica do conceito.

A preparação da aula pode ser acompanhada da aplicação prévia de um questionário sobre o tema antes de ser ministrada a aula expositiva. A aplicação inicial do questionário auxiliará o professor a descobrir os conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema. Depois de cumprida essa etapa, o experimento será realizado com os alunos e eles terão a possibilidade de estabelecer relações de causa e efeito entre o aquecimento do sólido e a variação de suas dimensões. Uma análise posterior dessas relações é feita junto a uma abordagem histórica para chegar-se à equação da dilatação linear dos sólidos, tal como ela é conhecida nos livros didáticos. Finalmente, calculamos o valor do coeficiente de dilatação linear do fio. A abordagem histórica faz-se importante no processo, pois chama a atenção dos alunos para o aspecto interdisciplinar no estudo da ciência e também mostra a eles que o conhecimento que usamos hoje, foi construído ao longo de vários anos e custou a dedicação de vários cientistas ao longo do tempo.

O mesmo questionário poderá ser aplicado após a aula teórica para verificar se realmente houve um aumento por parte dos alunos, na compreensão das questões sobre o tema. É válido lembrar que a nossa proposta visa aumentar tal compreensão mas, ainda assim, existirão alunos que ao final do processo, não obterão um bom resultado.

Acreditamos que um experimento é uma ferramenta que ajuda a aprendizagem e que desperta em todos os alunos, uma motivação a mais para fixar a sua atenção na aula de física. Essa prática proporciona um grande prazer e estímulo ao professor, pois ele poderá observar a motivação e o ganho na aprendizagem de seus alunos.

Introdução

Neste Capítulo, procuramos dar uma abordagem geral nas motivações e nos caminhos sugeridos para preparar uma aula diferente da tradicional, abordando o conceito de dilatação térmica dos sólidos para uma turma de ensino médio. A diferença residindo essencialmente na aplicação de um questionário, anterior à aula propriamente dita, para auxiliar na avaliação do conhecimento prévio dos alunos, seguido da realização de um experimento que, esperamos, desperte a curiosidade e a capacidade crítica deles quanto aos conceitos envolvidos na experiência. Inicialmente, faremos uma descrição das nossas motivações e, em seguida, uma descrição sobre como o trabalho está organizado.

Escolha do tema

Dilatação sempre foi um tema que chama a atenção. São alguns exemplos deste fenômeno em nosso cotidiano, as separações do asfalto de pontes e portões de ferro que ficam difíceis de abrir quando expostos ao sol. Sempre víamos esse tema motivador e sempre buscamos respostas para essas perguntas. No colégio, as respostas dadas pelos professores sempre envolvem um conhecimento pronto que acaba se reduzindo à aplicação de uma equação.

Agora, enfrentando o problema como professor, gostaria de inovar a aula sobre dilatação, tornando-a mais didática e compreensível para os alunos. Durante o curso de Licenciatura em Física da UFRJ, realizei um projeto de aula na disciplina Instrumentação para o Ensino onde, a partir da observação de um experimento, criaríamos uma discussão sobre um tópico de Física em uma sala de aula. Acreditávamos que, assim, poderíamos motivar o aluno a compreender melhor o assunto.

Segundo as orientações dos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio [1]

“Incorporado à cultura e integrado como instrumento tecnológico, esse conhecimento tornou-se indispensável à formação da cidadania contemporânea. Espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao

indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. Para tanto, é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas. É necessário também que essa cultura em Física inclua a compreensão do conjunto de equipamentos e procedimentos, técnicos ou tecnológicos, do cotidiano doméstico, social e profissional”.

Seguindo essas orientações, propomos, neste trabalho, criar um experimento onde seja possível observar a dilatação térmica linear de um sólido e, a partir das medidas realizadas pelo próprio aluno, dar a ele uma visão maior do processo de determinação do coeficiente de dilatação. Esses dados são usados para resolução dos problemas em sala de aula, mas, muitas vezes, o aluno nem imagina de onde esses valores foram extraídos, limitando o seu conhecimento e tornando o ensino de Física uma mera repetição de exercícios.

Para conseguir este objetivo de construção de conhecimento, utilizamos neste trabalho, o processo histórico como motivador. Acreditamos que o aluno que não tenha gosto pela área científica sinta-se mais estimulado em aprender Física, quando algo de seu interesse é incorporado à aula. A inclusão da parte histórica no processo é uma ferramenta facilitadora do processo ensino-aprendizagem.

O Parâmetro Curricular Nacional também orienta: [1]

“O ensino de Física tem-se realizado freqüentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significado. Privilegia a teoria e a abstração, desde o primeiro momento, em detrimento de um desenvolvimento gradual da abstração que, pelo menos, parta da prática e de exemplos concretos. Enfatiza a utilização de fórmulas, em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam de seu significado físico efetivo. Insiste na solução de exercícios repetitivos, pretendendo que o

aprendizado ocorra pela automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento através das competências adquiridas. Apresenta o conhecimento como um produto acabado, fruto da genialidade de mentes como a de Galileu, Newton ou Einstein, contribuindo para que os alunos concluam que não resta mais nenhum problema significativo a resolver. Além disso, envolve uma lista de conteúdos demasiadamente extensa, que impede o aprofundamento necessário e a instauração de um diálogo construtivo”.

Como sugerimos no trabalho, o professor que o utilizar poderá construir o conhecimento junto aos alunos e, não simplesmente, apresentá-lo acabado. Poderá ainda, utilizando o processo histórico, mostrar que o conhecimento físico foi construído ao longo de vários séculos e por vários pesquisadores que contribuíram muito para o avanço do conhecimento e que, mesmo tendo uma grande importância nas descobertas, não aparecem em destaque nos livros didáticos.

Contribuição de outros professores para o tema

Em uma aula no curso de Física, deparamo-nos com o artigo de Trumper e Gelbmam [2] no qual estes dois autores, através de um experimento, tentaram mostrar uma forma de determinar-se o coeficiente de dilatação linear em um fio metálico. Gostamos da idéia e montamos um experimento similar com o mesmo objetivo, porém com algumas modificações em relação ao experimento original, que constava no artigo. Este artigo não trazia as dimensões do experimento, dificultando muito a sua réplica. Como alternativa, apresentamos nas páginas seguintes de nosso trabalho um novo experimento, mais adequado aos objetivos propostos.

Muitos autores de livros didáticos não costumam citar a parte histórica e nem o desenvolvimento experimental dos tópicos de Física apresentados em seus livros. No livro “Os Fundamentos da Física” [3], por exemplo, os autores têm como objetivo que os alunos treinem os exercícios sem preocupar-se com um real aprendizado dos estudantes. Este livro nem sequer cita *como* o aluno poderia desenvolver experimentos relacionados aos tópicos estudados.

O que é novo em nosso trabalho

Partindo da criação de um experimento relativamente simples e realizando-o em sala, mostramos uma maneira diferente de aula onde podemos construir, junto com o aluno, um modelo pelo qual se é possível chegar ao valor do coeficiente linear de dilatação de um sólido (neste caso, representado por um fio metálico). Dessa forma, tornaríamos acessível um processo experimental para a sala de aula, incluindo até mesmo aquelas salas dos colégios para os quais um “laboratório” está muito distante da realidade. Para ser mais eficaz, sugerimos a inclusão de um questionário sobre o tema em dois momentos: antes da apresentação do assunto em aula e depois dela realizada. A aplicação do questionário, previamente, à aula serve para o professor compreender as deficiências de conhecimento da turma e, durante a aula propriamente dita, possa elucidar as dúvidas, tornando, assim, a aula mais interessante e motivadora para professor e aluno. Uma aplicação do mesmo questionário, posteriormente, à aula serve para dar certeza ao professor que o método utilizado foi útil como motivador e organizador e contribuiu para a melhora do aprendizado geral.

A aula seria toda voltada para a realização e análise do experimento, mostrando aos alunos, através dos dados obtidos, como estabelecer a equação da dilatação linear dos sólidos, em geral, e o valor do coeficiente de dilatação linear de um fio metálico, em particular, e também, mostrando ao aluno que o processo experimental não está distante de sua realidade e que ele é capaz de compreender e realizar o processo junto com o professor.

O fato de avaliar previamente a turma é muito importante, pois motiva a discussão sobre o tema de maneira informal, porém muito produtiva. Além disso, podemos dominar as dificuldades gerais da turma e, por consequência, melhor esclarecer as dúvidas dos alunos.

Como o trabalho está organizado

No Capítulo II, sem pretensão de fazer a história, descrevemos a evolução do conceito de dilatação térmica dos sólidos até a descoberta do coeficiente de dilatação

linear, ilustrando a evolução dos conceitos através da descoberta dos cientistas que se dedicaram ao estudo do fenômeno da dilatação.

No Capítulo III, detalhamos o processo ocorrido em uma primeira experiência em sala de aula, na qual exploramos a aplicação do questionário na avaliação. A partir dos resultados obtidos nesta primeira experiência, indicamos no Capítulo IV, o processo de construção de um novo experimento, pelo o qual seria possível extrair dados para se chegar à construção da equação da dilatação linear dos sólidos em uma sala de aula.

A dilatação térmica ao longo da história

O primeiro grande físico a propor de forma clara um problema envolvendo a deformação de corpos foi Galileu Galilei (figura 1), que formulou uma situação concreta sobre como os objetos se deformam. Galileu inspirou-se nas escoras de madeira que apóiam telhas pelos telhados da cidade e que, com o passar do tempo, deformavam-se com facilidade. [4]



Figura 1: Galileu Galilei (1554-1642), primeiro grande físico a propor relações modernas sobre o estudo do movimento mecânico e avançou muito no conhecimento astronômico do século XVI. [5]

Porém somente em 1676, é que vamos encontrar, pela primeira vez, no livro “De Potentia Restitiva”, de Robert Hooke (figura 2), uma relação para a deformação dos corpos em geral. Comparando o corpo considerado a uma grande mola, a deformação seria proporcional à força aplicada. “Ut tensio sic vis” foram as palavras em latim

utilizadas por Hooke para descrever esta relação. Segundo ele, esta lei foi descoberta por ele mesmo em 1660, mas só foi publicada em seu livro em 1676, sob a forma de um anagrama (“ceiinossttuu”).

A lei de Hooke constitui-se na base da teoria matemática moderna da elasticidade dos corpos. Em sua descrição, ela cita que a carga no corpo é devida à ação da força que é proporcional à razão entre a variação de comprimento do material considerado pelo seu comprimento inicial.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (1)$$



Figura 2: Robert Hooke (1635-1703) Esta talvez seja a única imagem de Hooke que sobreviveu ao tempo e aos embates com seu contemporâneo Isaac Newton. [5]

Para comparar os efeitos desta carga sobre as diferentes parte do material, Thomas Young (figura 3) mostrou que a força por unidade de área, sigma, é a unidade relevante ao problema, assim como a direção da força aplicada. [6] Quando a força F atua

igualmente sobre toda a superfície A, o valor de sigma pode ser calculado pela fórmula: $\text{Sigma} = F/A$ que, combinada à lei de Hooke, pode ser rescrita como: $\sigma = Ee$, onde E é uma constante denominada módulo de Young ou módulo de elasticidade do material:

$$\sigma = E \cdot \epsilon. \quad (2)$$

Existia uma rivalidade com as descobertas dos ingleses. Para ilustrar esta informação, contraponho duas citações: a do americano matemático, Clifford Ambrose Truesdell III, que comenta em seu livro (*"L. Euleri Omnia Opera"*): "Os céus da época não foram mais radiantes para Young porque seus trabalhos foram ofuscados pelas brilhantes contribuições de Euler" [7] e a do cientista de materiais britânicos, J.E. Gordon, que comenta ironicamente em seu livro (*"The Science of Structures and Materials"*), [8] esta definição notável. Por dizer que pouquíssimas pessoas foram capazes de compreender a definição que o jovem Young pretendia passar, ele resume a teoria dessa forma: "O módulo da elasticidade de qualquer substância é a capacidade de produzir uma pressão e essa pressão é capaz de provocar uma diminuição no comprimento da barra".

Young realizou o seu trabalho baseado na Lei de Hooke para a dilatação dos materiais, só que considerando somente a pressão exercida sobre o corpo, e não somente a força, como era originalmente imaginado por Hooke. Ambos desconsideravam a variação de temperatura como um dos fatores importantes para a dilatação de sólidos em suas teorias.



Figura 3: Thomas Young (1773-1829), físico e médico inglês, foi professor de filosofia natural no Royal Institution, onde publicou vários trabalhos expressivos para o avanço do conhecimento Científico. Foi nomeado Secretário da Royal Society em 1802, um cargo que ele ocupou até o fim de sua vida. [5]

Jean Marie Duhamel (figura 4) foi um físico matemático que dedicou a maior parte de seu tempo ao estudo de equações diferenciais aplicadas a problemas de acústica e de rotação mecânica. Ao mesmo tempo, porém de forma independente, Duhamel e Franz Ernest Neuman (1798-1895) descobriram que a variação de comprimento de uma barra metálica homogênea não ocorre somente pela ação da tensão mecânica exercida sobre o fio, como sugeria Young. Eles determinaram uma expressão matemática que relacionava a variação da temperatura como um outro fator também responsável pela deformação de uma barra sólida e homogênea.

Logo, Duhamel e Neumann chegaram à conclusão de que a distensão de um fio se devia, de uma parte, à distensão mecânica:

$$\varepsilon_{mec} = \frac{\sigma}{E} \quad (3)$$

e de outra parte, à distensão devida à variação térmica:

$$\varepsilon_T = \alpha_T \Delta T . \quad (4)$$

Então, a distensão total sobre um fio, seria calculada pela soma das duas distensões:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_m + \varepsilon_t , \quad (5)$$

chegando, então, à forma:

$$\varepsilon_t = \frac{\sigma}{E} + \alpha \Delta T \quad (6)$$

A distensão térmica é proporcional ao α , que é uma grandeza relativa às propriedades do material que constitui o fio. Reescrevendo a equação, chegamos à sua forma final, conhecida como equação de Duhamel-Neumann:

$$\sigma = E(\varepsilon_t - \alpha \Delta T) \quad (7)$$



Figura 4: Jean Marie Duhamel (1797-1872), eleito membro da Academia Francesa de Ciências em 1840. [5]

Jean Marie Constant Duhamel (figura 4) entrou para a École Polytechnique em 1814, graduando-se em 1816. Depois de sua formação, tentou buscar uma outra profissão mais lucrativa, mas voltou à Paris para lecionar Matemática em algumas escolas e em 1830 sucedeu o famoso matemático Coriolis como professor de cálculo.

Duhamel voltou à École Polytechnique como professor, onde encerrou a sua carreira no magistério em 1869. Nesse mesmo ano, foi eleito membro da Academia Francesa de Ciências. Seus estudos concentraram-se nas aplicações de equações diferenciais em problemas da teoria do calor, rotação mecânica e acústica.

Suas abordagens na teoria de calor estiveram matematicamente parecidas com o trabalho de Fresnel em ótica e a sua teoria da transmissão de calor em estruturas de cristal foi baseado no trabalho de Fourier e Poisson.



Figura 5: Franz Ernest Neumann(1798-1895) formula a lei da indução eletromagnética em 1851. [5]

O alemão Franz Ernst Neumann (figura 5) viveu uma infância muito pobre no período que a guerra napoleônica sufocava e destruía a Alemanha. Em 1813, com apenas quinze anos, entrou como voluntário para o exército alemão, mas como era muito novo não foi levado logo para os campos de batalha. Curiosamente, quando iria ser levado para os campos de combate em 1815, já prestes a completar dezoito anos, Napoleão foi vencido em Waterloo. Neumann, então, só obteve os treinamentos de guerra.

Em 1816, retorna a Berlim para continuar os seus estudos de nível médio, terminando-os em 1817, no mesmo ano que inicia sua graduação, começando a estudar Teologia e Ciências Naturais. Publicou um livro sobre análise de estrutura de cristais em 1820, que lhe deram o título de doutor em 1828, quando foi promovido a professor assistente e um ano depois, a professor titular.

Em 1831, descobre a lei de indução eletromagnética, que revolucionaria a ciência e o consagraria como cientista na Alemanha. Porém, o mundo só toma ciência desta lei quando ele a publica em dois artigos, em 1845 e 1847, posteriormente a publicação de Faraday, em 1840.

Avaliação dos alunos - Motivação

O trabalho que apresentamos neste capítulo foi realizado em sala de aula. Começou com a criação de um questionário e aplicação deste antes da apresentação do experimento e explicação do assunto em aula. Essa primeira aplicação tinha como objetivo conhecer, no geral, o entendimento dos alunos sobre o tema. O questionário deveria ser respondido somente utilizando os conhecimentos prévios dos alunos, para que nós encontrássemos as dificuldades gerais da turma. É importante ressaltar que os questionários não contribuíram para a avaliação formal da escola e nem era necessária a identificação do aluno.

Com este questionário, conseguimos, além de motivar a turma ao estudo do novo tópico, obter dados estatísticos sobre sua compreensão do tema proposto, somente utilizando as suas experiências diárias, sem receber nenhum tipo de conhecimento escolar que seria passado a seguir.

Elaboração do Questionário

O questionário foi desenvolvido tentando abranger grande parte dos conceitos sobre dilatação térmica, contendo cinco perguntas envolvendo dilatações linear, superficial e volumétrica. Este questionário foi respondido pelos alunos uma semana antes da ocorrência da aula teórica sobre a matéria em questão.

As perguntas selecionadas para o questionário foram:

- 1) Você acredita que ao aumentarmos a temperatura, o comprimento de uma barra de ferro varia?
- 2) Por que, em um dia quente, os portões de ferro que ficam expostos ao sol ficam mais difíceis de abrir?
- 3) Você acha que uma obturação dentária tem as mesmas propriedades térmicas de seu dente?

- 4) Qual a importância das separações que se verificam entre os blocos que constituem uma ponte? Como exemplo, temos os espaços entre os blocos da Ponte Rio Niterói.
- 5) Por que os parafusos que unem as chapas da fuselagem de um avião são colocados com uma temperatura muito baixa?

Primeira aplicação do questionário

Este questionário foi aplicado inicialmente para 22 alunos que estavam presentes na turma IM-221 do segundo ano do Ensino Médio da REDE MV1-Ipanema no dia 11/04/2003.

O perfil destes alunos, segundo o Serviço de Orientação Educacional (SOE) do colégio, reside na Zona Sul do Rio de Janeiro e possuem renda familiar média de aproximadamente 15 salários mínimos (R\$3.900,00), 37% destes têm pais separados e a média de idade é de 16 anos.

As respostas qualificadas como corretas foram as seguintes:

- 1) Você acredita que ao aumentarmos a temperatura o comprimento de uma barra de ferro varia?

Resposta: Sim

- 2) Por que em um dia quente os portões de ferro que ficam expostos ao sol ficam mais difíceis de abrir?

Resposta: Porque a chapa de ferro sofre dilatação diminuindo o espaço que o portão ocupa na parede

- 3) Você acha que uma obturação dentária tem as mesmas propriedades térmicas de seu dente?

Resposta: Sim

- 4) Qual a importância das separações que se verificam entre os blocos que constituem uma ponte? Como exemplo temos os espaços entre os blocos da Ponte Rio Niterói.

Resposta: Deixar espaço entre os blocos para que com o aumento da temperatura a ponte tenha espaço para dilatar.

- 5) Por que os parafusos que unem as chapas da fuselagem de um avião são colocados com uma temperatura muito baixa?

Resposta: Porque como os aviões voam muito alto em temperatura baixa, mesmo com a contração dos parafusos a chapa continua presa.

Depois de tomar ciência do conteúdo das respostas dos questionários e analisá-los, verifiquei o quantitativo de alunos que responderam corretamente o questionário por completo; foram 6 pessoas, ou seja 28%. A quantidade de erros por questão foram:

1ª Questão: 6 erraram a resposta.

2ª Questão: 3 erraram a resposta.

3ª Questão: 16 erraram a resposta.

4ª Questão: 10 erraram a resposta.

5ª Questão: 11 erraram a resposta.

- Total: 22 Questionários

Através da análise dos dados desta primeira aplicação foi percebida uma deficiência conceitual na turma, então elaborei a aula de dilatação térmica com um enfoque nas respostas erradas do questionário. Procurando contextualizar sempre nesta aula.

O Experimento

O experimento construído para a demonstração do fenômeno em sala consiste em um recipiente metálico (lata de leite em pó) onde podemos armazenar água e ferver-la fazendo com que o vapor de água passasse primeiramente por uma borracha e logo a

seguir por dentro de um tudo de cobre. Depois o processo foi repetido sendo utilizado um tubo de alumínio. Com isso foi possível fazer com que os alunos verificassem o aumento de comprimento das barras, ou seja, a dilatação dos corpos.

A apresentação do experimento:

Devido às dificuldades encontradas para manter a água fervendo e a mesma ser passada por dentro dos tubos do experimento, o colégio disponibilizou o seu laboratório no qual coloquei o recipiente com água em um bico de Bunsen para aquecer mais rapidamente a água. Mesmo assim não foi possível coletar dados sobre o material, pois os tubos de cobre e alumínio dilatam alguns poucos milímetros (dois ou três) para variações de temperatura de até 100°C.

Porém todos os alunos confirmaram a variação de comprimento dos tubos e já foram mais preparados para a aula teórica. Inclusive participando mais e tentando relacionar o experimento com acontecimentos de seu cotidiano e com a aula teórica. Na figura 6 ilustramos um esquema da experiência.

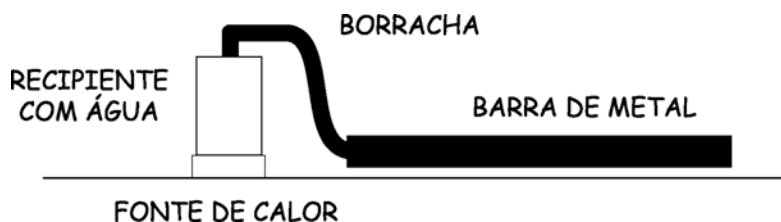


Figura 6: Esquema do experimento

Construção do experimento

Para se construir o experimento foi utilizado:

- Uma placa de compensado para se fazer a base com dimensões: comprimento 1m, largura 0.4m e 0.01m de espessura. Essa placa foi comprada na Madereira São João, Rua Coração de Maria 114 Meier por R\$8,00.
- Um metro de borracha para jardins encontrado em qualquer loja de material de construção por R\$1,80.
- Uma embalagem de Leite em pó de metal com a tampa também metálica.
- Duas barras (uma de cobre e outra de alumínio) com dimensões de 82,4 cm. Essas barras foram cedidas pela oficina mecânica do Instituto de Física da UFRJ.
- Uma trena comprada em lojas de material de construção por R\$1.50

Segunda aplicação do questionário

Depois de realizado o experimento e a partir dele a aula teórica foi repassado o mesmo questionário nesta turma, onde no dia 27/06/2003 estavam presentes 20 alunos e obtive melhores resultados, foi verificado que o número de alunos que responderam corretamente o questionário por completo: foram 16 alunos, ou seja 80%. O percentual de acertos obtidos com na primeira avaliação foi de 28%. Os números de erros por questão está mostrado na tabela comparativa com a primeira experiência abaixo:

| 1ªAplicação do Questionário | 2ª Aplicação do Questionário |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| 1ªQuestão: 6 erraram a resposta. | 1ªQuestão: Ninguém errou a resposta |
| 2ªQuestão 3 erraram a resposta | 2ªQuestão 1 errou a resposta |
| 3ªQuestão: 16 erraram a resposta | 3ªQuestão: 3 erraram a resposta |
| 4ªQuestão: 10 erraram a resposta | 4ªQuestão: 3 erraram a resposta |
| 5ªQuestão: 11 erraram a resposta | 5ªQuestão: 4 erraram a resposta |
| Total 22 Questionários | Total 20 Questionários |

Análise da Aula

Na primeira aplicação do questionário eu já pude notar um certo alvoroço por parte dos alunos. Até por que quando o professor chega em sala com uma folha contendo cinco questões e pede para que sejam respondidas, os alunos encaram este fato como se fosse uma avaliação formal.. Deixei-os bem a vontade e enfatizei que se tratava de uma pesquisa que estava realizando e que os questionários não seriam nominais e não teriam nota. Os alunos responderam as questões e começaram uma discussão sobre qual seriam as respostas corretas do questionário, pois eu deixei claro que não forneceria as respostas corretas naquele momento.

Passado uma semana, e depois de ter analisado os questionários com calma em casa, cheguei em sala com o experimento que logo despertou a curiosidade dos alunos em saber do que se tratava aquilo. Comecei a realizar o experimento e os alunos foram observando que as barras se dilatavam com o aumento da temperatura. Na aula expositiva eu utilizei as perguntas do questionário, de maneira discreta e comecei a explicar o fenômeno também utilizando como recurso a história da ciência. Com este experimento os alunos perceberam de forma qualitativa que o tubo metálico sofria uma distensão conforme era aquecido.

Passado uma semana eu reapliquei os questionário e notei uma grande mudança no pensamento dos alunos, analisando melhor os fatos depois de terem observado os fenômenos. Porém opino em melhorar o experimento de forma que se possa quantificar os resultados, construindo o conhecimento de forma mais sólida do que somente mostrando o fato.

Uma proposta para um novo experimento

O porquê da proposta

A elaboração e criação de um novo experimento se fez necessário, pois a proposta inicial do trabalho tem como objetivo obter a equação da dilatação linear dos sólidos. O modelo anteriormente proposto não atendeu a este propósito, devido à impossibilidade de extração de dados, como a da variação do comprimento em relação a temperatura. Então investimos na construção de um novo experimento para obtenção de medidas quantitativas da dilatação de um fio e, assim, chegar a uma expressão matemática para a equação da dilatação térmica linear do fio. Este experimento visa esclarecer aos alunos de Ensino Médio o processo científico e mostrar-lhes como se determina uma Lei Física a partir de um o procedimento analítico – experimental, fazendo, com isso, uma relação entre a teoria e a prática.

Ao prepararmos o novo experimento foi utilizada uma moldura de madeira, de forma quadrada, formada por duas bases de madeira dispostas em paralelo (uma superior e uma inferior) e duas hastes de forma que o fio a ser analisado ficasse suspenso na posição vertical no meio da moldura. Foi colocado um gancho no meio da base de madeira superior que possibilitou a fixação e distensão do fio. Este fio foi ligado à uma fonte variável de intensidade de 0 à 25 V, que produzia uma corrente elétrica, através do fio, ligado em curto-circuito, provocando assim o aquecimento do mesmo. Através do valor da variação de temperatura, do comprimento inicial e final sofridos pelo fio, poderemos chegar a um valor do coeficiente de dilatação térmica, sendo possível assim a determinação da equação da dilatação linear dos sólidos.

O experimento

O kit do experimento consiste em uma moldura em madeira formada por duas bases de dimensões 60 x 20 x 2 cm e duas hastes de dimensões 100 x 3 x 2 cm, fios de aproximadamente 50, 60 e 70 cm feitos com uma liga de níquel e cromo Ni-Cr (20-20), uma régua milimetrada de 100 cm, uma fonte de tensão variável de 0 à 100 V, um termopar tipo K, um termômetro digital, fios para conexão e dois multímetros.

O termopar mais indicado para se fazer essas medidas é o tipo K pois mede a temperatura de sólidos e sua faixa de leitura de temperaturas se encaixa na faixa que medimos. Na figura 7 mostramos um esquema da montagem da experiência.

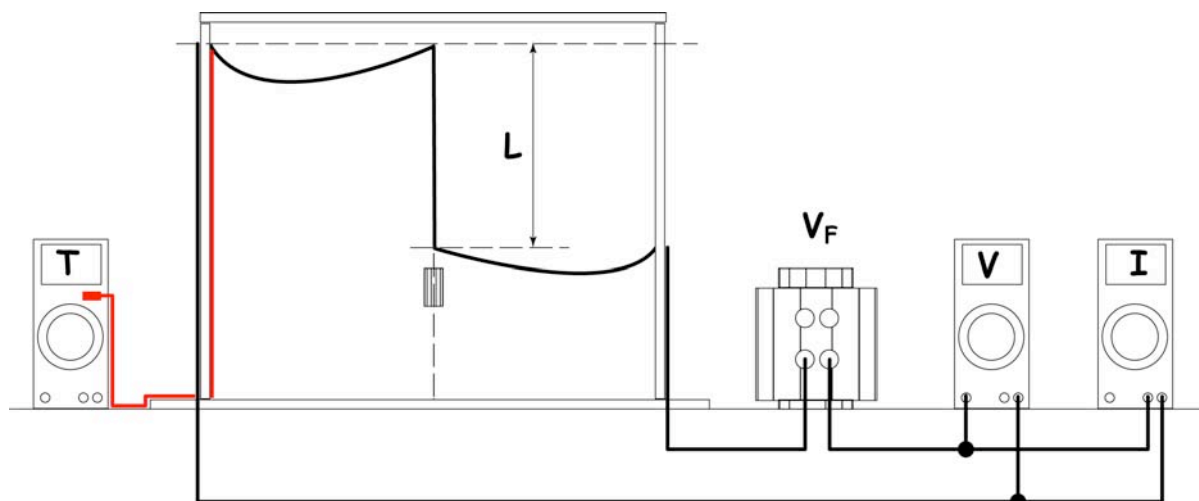


Figura 7: Esquema do experimento. Podemos observar como é feita a ligação entre os aparelhos. A fonte é ligada nas extremidades do fio e o termômetro ligado no meio do fio.

Material utilizado:

- Duas peças de cedro com a finalidade de fazer as bases superior e inferior ambas com dimensões de : 60 x 20 x 2 cm. Duas hastes de madeira com medidas 100 x 3 x 2cm para se fazer o suporte. Estes materiais de madeira foram comprados na Madeireira Alto Floresta LTDA., Rua Coração de Maria, 321 – Cachambi por R\$11,40.
- Um Termopar Tipo K. Foi comprado no Rei das Válvulas Eletrônica, cito Rua da Constituição, 59 Centro por R\$12,20.

- Um Multímetro comprado no Rei das Válvulas Eletrônica, cito rua da Constituição, 59 Centro por R\$30,20.
- Fio de Ni-Cr (20-20) foi doado pela oficina mecânica do IF-UFRJ.
- O termômetro, os fios de conexão, a régua e a fonte de tensão variável usadas estavam disponíveis na sala A-431 do IF-UFRJ.

Procedimento: Após realizar as ligações entre a fonte e as extremidades do fio Ni-Cr (20-20) e colocar o termopar preso na metade do fio, começamos a variar a tensão da fonte inicialmente de zero até 25 volts aproximadamente, mantendo um intervalo de 3 em 3 volts monitorando a dilatação no fio de Ni-Cr (20-20) e a sua temperatura. Para ajudar a esticar o fio colocamos uma embalagem de filme fotográfico comum com um parafuso para suporte de quadros em sua tampa e com massas 54, 74 e 94 g, as quais foram colocadas somente uma em sua extremidade livre, em cada análise realizada.

Colocando o fio de 70 cm na base superior de madeira do experimento, aferimos os dados iniciais, apresentados na tabela abaixo:

| parâmetros fixos | valor |
|-------------------------|----------------|
| L_0 (cm) | 70.0 ± 0.5 |
| M (g) | 94.0 ± 0.1 |

Começamos a aumentar a tensão elétrica que passava pelo fio e a anotar os valores da temperatura, da tensão e da altura que o fio, ao dilatar-se, marcava na régua. Os valores encontrados estão representados nesta próxima tabela.

| comprimento L (cm) | temperatura T (°C) | tensão V (V) |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 69,6 | 30,0 | 0,00 |
| 69,8 | 40,0 | 3,20 |
| 70,0 | 50,0 | 4,83 |
| 70,0 | 80,0 | 6,30 |
| 70,0 | 82,0 | 6,50 |
| 70,1 | 140,0 | 7,10 |
| 70,3 | 200,0 | 7,50 |
| 70,4 | 230,0 | 12,20 |
| 70,5 | 320,0 | 14,60 |
| 70,7 | 385,0 | 17,10 |
| 70,7 | 415,0 | 17,40 |
| 70,9 | 469,0 | 20,50 |
| 71,0 | 500,0 | 21,30 |
| 71,2 | 612,0 | 25,70 |

Com estes dados que obtivemos no laboratório construímos um gráfico (ver figura 8) indicando como varia o comprimento do fio em função da temperatura para sabermos como esses dois dados se relacionam. Do estudo deste gráfico, vamos interpretar o resultado obtido como sendo uma reta e estabelecer um comportamento linear entre os dois parâmetros. Isso nos permite analisar esses dados como uma equação de reta na forma:

$$L_1 = a_1 + b_1(T-T_0), \quad (8)$$

onde a_1 é igual a Lo_1 quando T for igual a To . Lembrando que To é a temperatura ambiente.

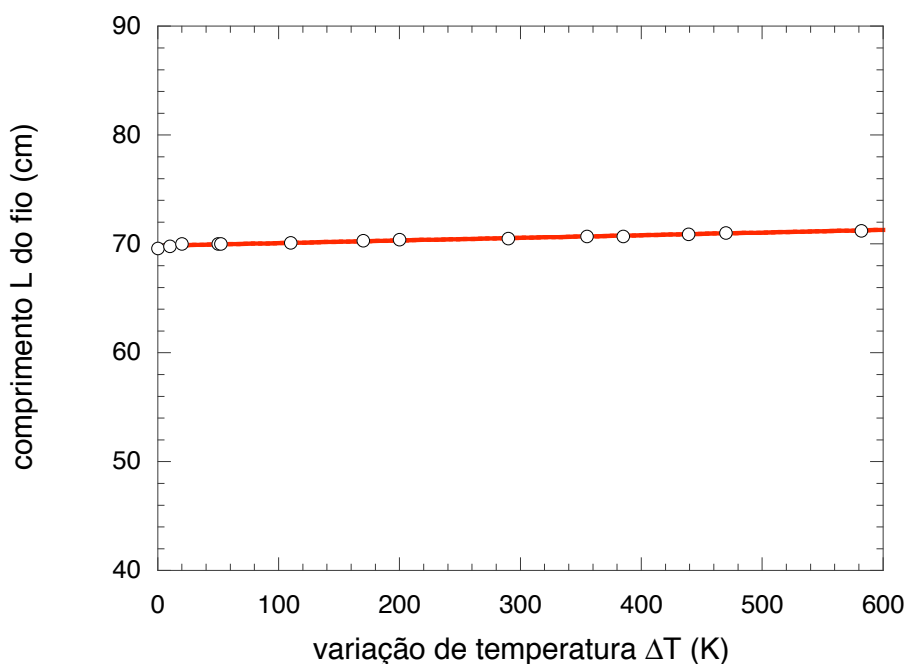


Figura 8: Gráfico do Comprimento do fio em função da temperatura, comprimento inicial do fio de 70cm e massa utilizada para tencioná-lo de 94g.

Com o gráfico da figura 8 não podemos estabelecer nenhuma relação que seja aplicada exclusivamente as propriedades geométricas ou constitutivas do material analisado. Propomos então verificar se existe alguma relação comum se estudarmos fios com comprimentos iniciais diferentes tencionados pela mesma massa de 94,0 g. Escolhemos então um fio de comprimento inicial de 50 cm para refazer o experimento. Colocando o fio de 50 cm na base superior de madeira do experimento, aferimos os dados iniciais, apresentados na primeira tabela da próxima página. Começamos a repetir o processo de aumentar a tensão elétrica que passava pelo fio e a anotar os valores da temperatura, da tensão e da altura que o fio, ao dilatar-se, marcava na régua. Os valores encontrados estão representados na segunda tabela da próxima página.

Tabela apresentando a descrição dos parâmetros:

| parâmetros fixos | valor |
|-------------------------|----------------|
| L_0 (cm) | 50.0 ± 0.5 |
| M (g) | 94.0 ± 0.1 |

Tabela apresentando os dados:

| comprimento L (cm) | temperatura T (°C) | Tensão V (V) |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 48,1 | 30,0 | 0,00 |
| 48,1 | 42,0 | 1,90 |
| 48,1 | 70,0 | 2,30 |
| 48,2 | 91,0 | 2,40 |
| 48,2 | 121,0 | 5,00 |
| 48,2 | 151,0 | 5,50 |
| 48,3 | 180,0 | 7,40 |
| 48,4 | 244,0 | 7,80 |
| 48,4 | 280,0 | 10,70 |
| 48,5 | 325,0 | 10,80 |
| 48,5 | 330,0 | 12,10 |
| 48,6 | 380,0 | 12,70 |
| 48,7 | 416,0 | 14,60 |
| 48,8 | 471,0 | 15,10 |
| 48,9 | 481,0 | 16,90 |
| 49,0 | 535,0 | 17,90 |

Com estes valores obtivemos o gráfico indicado na figura 9 que comparamos com o obtido anteriormente.

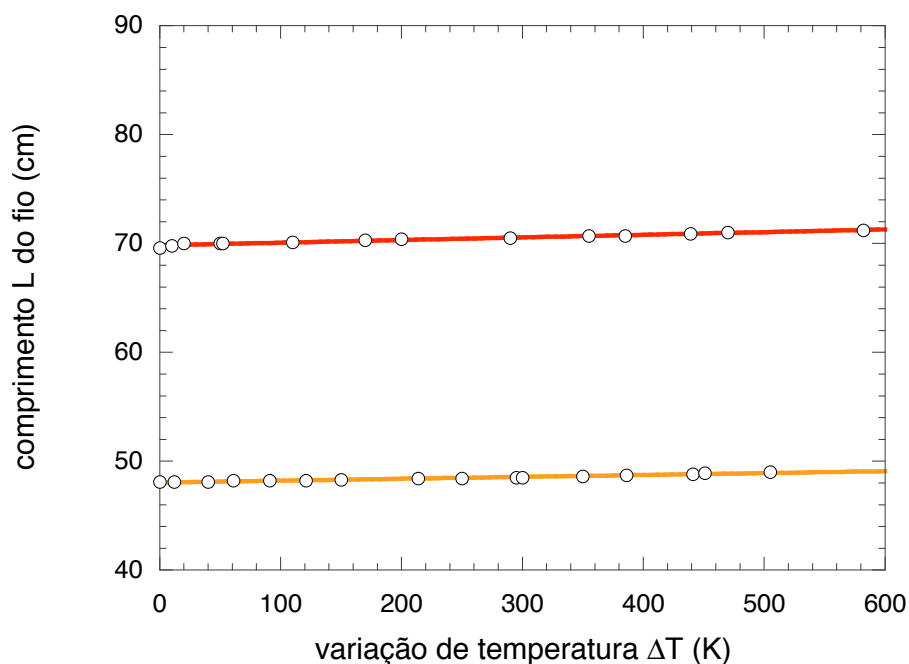


Figura 9: Gráfico: Comprimento do fio em função da Temperatura com fios de comprimentos iniciais de 50 cm e 70 cm tensionados por uma massa de 94,0 g

Analisando o gráfico indicado na figura 9, observamos um comportamento análogo ao de uma reta e vamos escrever a sua equação da seguinte maneira:

$$L_2 = a_2 + b_2(T - T_0), \quad (9)$$

onde a_2 é igual a L_{02} quando T for igual a T_0 , a temperatura ambiente.

Tentando encontrar relações entre os coeficientes angulares das equações de reta obtidas, observamos que quanto maior é o comprimento inicial do fio, maior é o valor do coeficiente. Para o fio de 70 cm o coeficiente angular medido foi de $(2,4 \pm 0,1) \times 10^{-3}$ cm/K e para o fio de 50 cm o valor encontrado foi de $(1,73 \pm 0,08) \times 10^{-3}$ cm/K.

Para verificar esta hipótese vamos selecionar um comprimento inicial de fio intermediário aos dois já estudados e verificar se o coeficiente angular obtido tem valor intermediário as duas medições anteriores e assim determinar se existe alguma relação.

Escolhemos então um fio de comprimento inicial de 60 cm, e tencionamos com a mesma massa de 94 g, e em seguida, adquirimos os dados que estão listados na tabela abaixo:

| parâmetros fixos | Valor |
|-------------------------|----------------|
| L_0 (cm) | 60.0 ± 0.5 |
| M (g) | 94.0 ± 0.1 |

Repetindo o mesmo procedimento encontramos os valores que estão representados nesta próxima tabela.

| comprimento L (cm) | Temperatura T (°C) | Tensão V (V) |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 60,0 | 30,0 | 0,00 |
| 60,1 | 60,0 | 3,20 |
| 60,1 | 70,0 | 2,30 |
| 60,2 | 150,0 | 4,70 |
| 60,3 | 195,0 | 6,30 |
| 60,3 | 222,0 | 8,50 |
| 60,5 | 309,0 | 8,80 |
| 60,5 | 330,0 | 11,50 |
| 60,6 | 439,0 | 12,30 |
| 60,6 | 496,0 | 15,50 |
| 60,7 | 530,0 | 16,40 |
| 60,9 | 578,0 | 18,60 |

A figura 10 representa o comprimento dos três fios considerados:

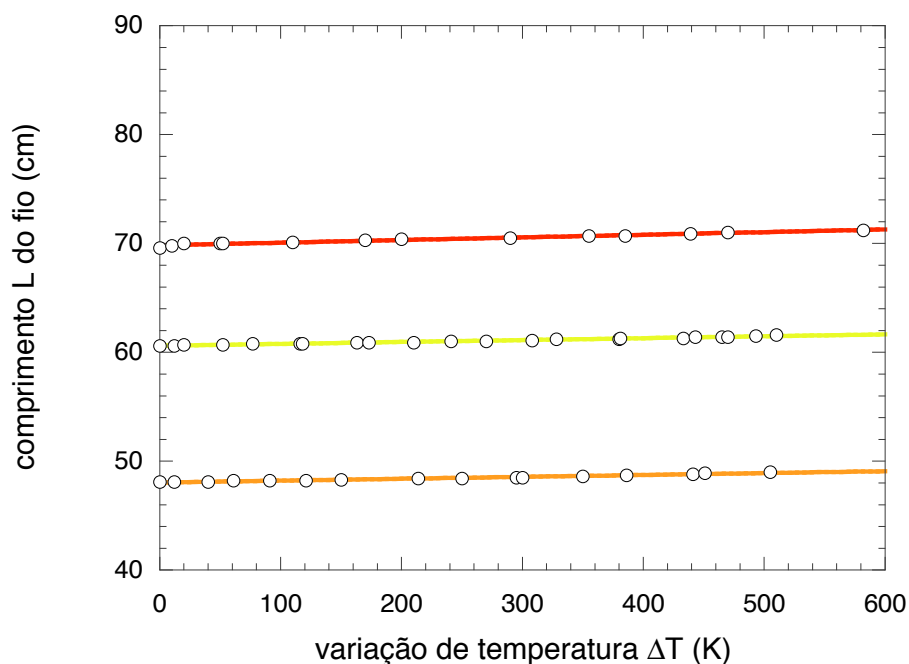


Figura 10: Gráfico: Comprimento do fio em função da Temperatura com fios de comprimentos iniciais de 50, 60 e 70cm tensionados por uma massa de 94,0g.

A dilatação do fio três obedece a seguinte equação da reta:

$$L_3 = a_3 + b_3(T - T_0), \quad (10)$$

onde a_3 é igual a L_0 quando T for igual a T_0 . Lembrando que T_0 é a temperatura ambiente.

O coeficiente angular ficou entre os primeiros valores conhecidos. $(1,75 \pm 0,06) \times 10^{-3} \text{ cm/K}$ e, de fato, realmente se estabelece uma relação entre o comprimento inicial do fio e o coeficiente angular obtido.

Construindo o gráfico da variação de comprimento do fio em relação a variação da temperatura, se observa que o fio de maior comprimento sofre uma maior dilatação.

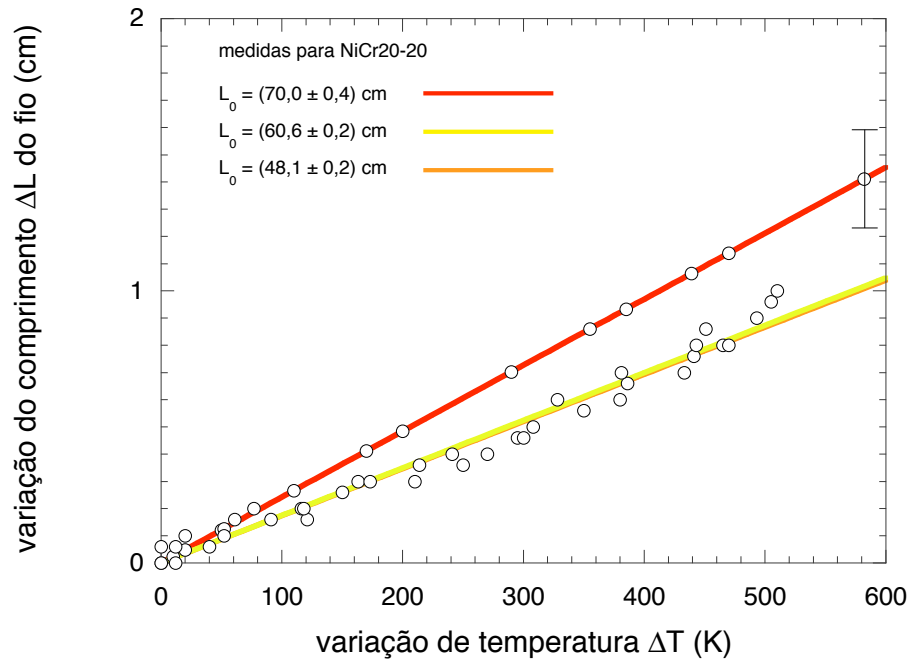


Figura 11: Gráfico da variação do comprimento do fio em função da temperatura com fios de comprimento 50, 60 e 70 cm e tencionado 94,0g de massa

Vamos agora escrever esta relação:

$$L = a + b (T - T_0), \quad (11)$$

que representa o comprimento do fio para diferentes temperatura. A partir dos dados, o coeficiente linear **a** corresponde ao comprimento inicial do fio:

$$a = L_0 \quad (12)$$

e o coeficiente angular **b** é uma função do comprimento inicial do fio:

$$b \equiv b(L_0). \quad (13)$$

Obtemos, assim, uma expressão geral para a dependência do comprimento do fio em função de sua temperatura:

$$L = L_0 + b(L_0) (T - T_0) \quad (14)$$

Por consequência , a sua dilatação pode ser escrita na forma:

$$L - L_0 = b(L_0)(T - T_0), \quad (15)$$

ou, ainda, dividindo-se os dois membros da igualdade acima pelo comprimento inicial L_0 , obtemos a seguinte expressão para a deformação relativa do fio, $\varepsilon = \Delta L / L_0$, em função de sua temperatura:

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{b}{L_0}(T - T_0) = \alpha(T - T_0). \quad (16)$$

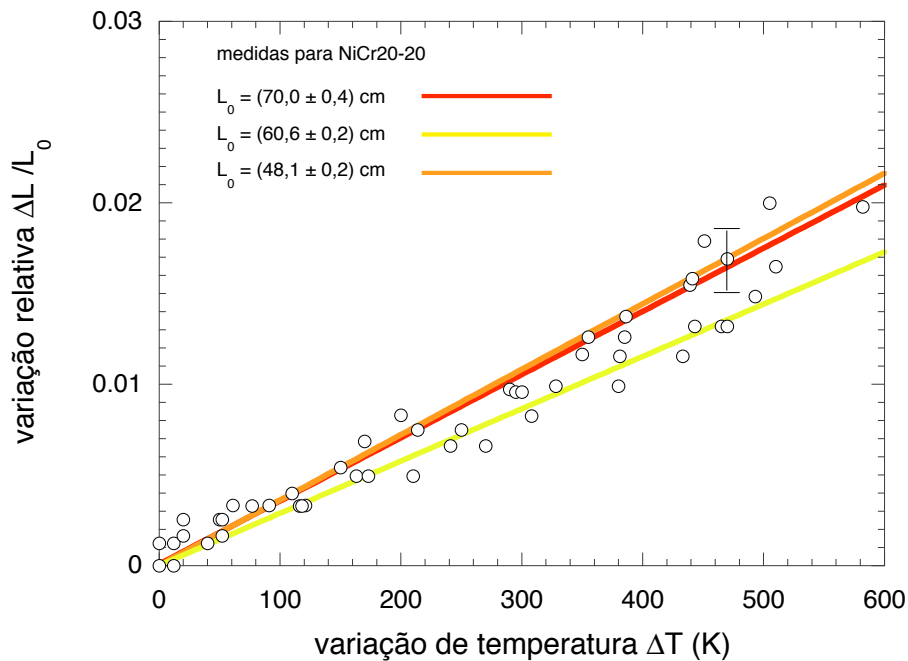


Figura 12: Gráfico da variação relativa do comprimento do fio em função da temperatura relativa para os fios de 50, 60 e 70 cm e tensionados por massa de 74

A figura 12 representa esta variação relativa em função da temperatura. A partir dessa figura podemos concluir que a deformação relativa de um fio (o lado esquerdo da equação 16) é independente do seu comprimento original L_0 e só depende da variação de temperatura a que o fio está submetido. Deste modo:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \alpha \Delta T \quad (17)$$

Nos livros didáticos essa equação se apresenta na forma

$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta T, \quad (18)$$

Determinando-se, assim, o valor do coeficiente de dilatação linear para o fio empregado: igual a $3,20 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$.

Para tentar descobrir se a massa e o comprimento inicial do fio influenciam no valor do coeficiente de dilatação térmica linear do fio, foram propostos dois processos:

1 - Utilizar os fios com comprimento inicial de 70 cm e variar a massa utilizada para esticá-lo, utilizando-se massas diferentes

2 - Fixar a massa de 54 g e variar o comprimento inicial dos fios, em 50, 60 e 70 cm, que serão esticados por estas massas.

Quando fixamos o comprimento inicial do fio em 70 cm, encontramos os seguintes valores para o coeficiente de dilatação linear:

| Massa (g) | Coef. dilatação linear (K^{-1}) |
|-----------|--|
| 54 | $3,26 \times 10^{-5}$ |
| 74 | $3,30 \times 10^{-5}$ |
| 94 | $3,20 \times 10^{-5}$ |

E, quando fixamos a massa em 54 g, os valores para o coeficiente de dilatação linear encontrados são:

| L_0 (cm) | Coef. dilatação linear (K^{-1}) |
|------------|--|
| 50 | $3,22 \times 10^{-5}$ |
| 60 | $3,33 \times 10^{-5}$ |
| 70 | $3,26 \times 10^{-5}$ |

Logo, podemos concluir que o método utilizado para obter o coeficiente de dilatação linear é satisfatório e o valor do coeficiente para o fio de Ni-Cr 20-20 é $(3,2 \pm 0.1) \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$

Conclusões

A dificuldade de compreender o assunto abordado diminuiu na medida que os alunos puderam observar e pensar no fenômeno da dilatação antes de obterem o conhecimento acadêmico. Mesmo assim ainda tivemos alguns alunos que não relacionaram a dilatação em áreas e volumes ou ainda como foi perguntado na questão cinco com o inverso da dilatação .

Construir um experimento é trabalhoso, porém quando observa-se o rendimento do trabalho e que o mesmo contribuiu para o aumento no conhecimento dos alunos, percebe-se que o objetivo do educador foi alcançado. O experimento teve papel fundamental na construção desse conhecimento, motivando e fazendo os alunos pensarem através da observação do fato. Em nosso novo experimento espero fazer ainda com que o aluno construa todo o processo de obtenção da equação de dilatação linear através dos dados obtidos em aula.

Ressalto que após a realização da primeira experiência os alunos se mostraram mais interessados em participar da aula mesmo alguns ainda respondendo o questionário de forma incorreta. Espero que com a aplicação do novo experimento os resultados encontrados possam ser ainda melhores. Essa prática apresentada aqui é só mais um caminho para se chegar à construção da aprendizagem do fenômeno da dilatação linear dos sólidos no ensino médio.

Referências

- [1] MEC. *Parâmetros Curriculares para o Ensino Médio*, Parte III, 1999.
- [2] Experiência adaptada a partir do artigo de R. Trumper e M. Gelbman, “Measurement of a Thermal Expansion Coefficient”, *The Physics Teacher*, 35, 10 (1997) 437-438.
- [3] Ramalho, Nicolau e Toledo, *Os Fundamentos da Física*, 8ª ed., Ed Moderna, Rio de Janeiro, 2004.
- [4] Love, A. E. H., *A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity*, 4ª ed., Dover, New York, 1944, págs. 1-31.
- [5] Fotos:
 - Hooke
www.kmodd.library.cornell.edu/biographies/hooke
 - Galileo
www.giovannipastore.it/regoli_file/galileo.jpg
 - Young
www.sciences.univ.nantes.fr/physique/enseignement/tp/hist/young.html
 - Duhamel
www.gap.dcs.st-and.ac.uk/~history/bigpictures/duhamel_2.jpeg
 - Neumann
www.history.mcs.st-andrews.ac.uk/history/BigPictures/Neumann_Franz.jpeg
- [6] R.C. Hibbeler , *Resistência dos Materiais*, 5ª Edição, Ed. Pearson Education, São Paulo, 2003
- [7] Truesdell, C.A., III. *The Rational Mechanics of Flexible or Elastic Bodies, 1638-1788, L. Euleri Opera Omnia*, series II, vol. II, part 2. Zurich: Fussli, 1960.
- [8] Gordon, J.-E., *The Science of Structure and Materials*, Scientific American Library, New York, 1988.